



Espacenet

Bibliographic data: JP 2000003842 (A)

METHOD AND SYSTEM FOR REAL TIME, IN-SITU INTERACTIVE MONITORING OF MANUFACTURING PROCESS OF SEMICONDUCTOR WAFER

Publication date: 2000-01-07

Inventor(s): CORONEL PHILIPPE; CANTELOUP JEAN; MACCAGNAN RENZO; VASSILAKIS JEAN-PHILIPPE +

Applicant(s): IBM +

Classification:

- **international:** G03F7/20; H01L21/02; H01L21/302; H01L21/3065; H01L21/66; (IPC1-7): H01L21/02; H01L21/3065
- **European:** G03F7/20T22; H01L21/66P

Application number: JP19980338911 19981130

Priority number (s): EP19970480104 19971230

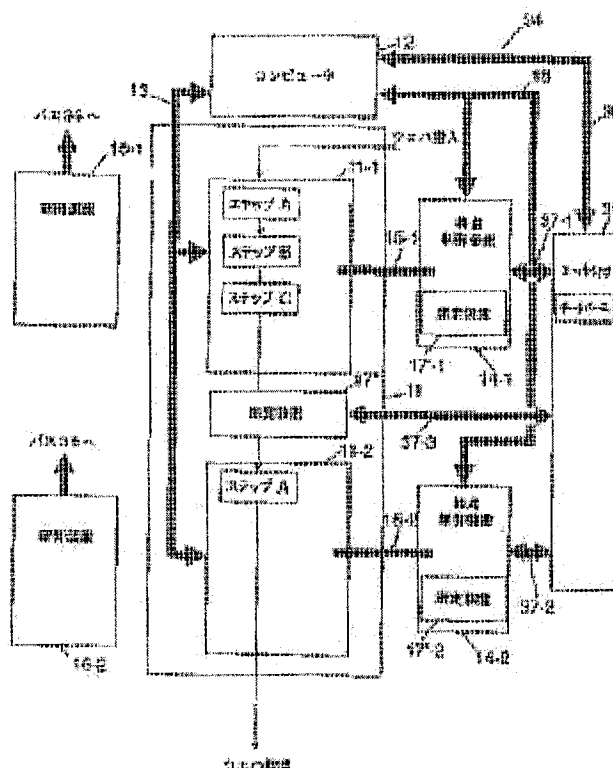
Also published as:

- JP 3024759 (B2)
- EP 0932194 (A1)
- US 6363294 (B1)

Abstract of JP 2000003842 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and a system for performing real time in-situ monitoring the steps in a tool during a semiconductor wafer manufacturing process.

SOLUTION: This system includes a tool 11, a computer 12 connected thereto, an endpoint detection control unit a data base, and a supervisor for monitoring the step and the overall wafer process. Control units 16-1 and 16-2 are used to monitor important process parameters in the steps and takes in-situ measurements. Changes in process parameters, corresponding to normal operation conditions and every predetermined deviations, are inputted into the database. During the process, the important parameters are monitored constantly by the control unit. Signals are encoded real time in-situ, analyzed and compared with the corresponding data stored in the database by a supervisor 35.



Last updated:
12.10.2011 Worldwide
Database 5.7.23.2; 92p

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-3842
(P2000-3842A)

(43) 公開日 平成12年1月7日(2000.1.7)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/02
21/3065

H 0 1 L 21/02
21/302

Z
B

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平10-338911

(22) 出願日 平成10年11月30日(1998.11.30)

(31) 優先権主張番号 97480104.5

(32) 優先日 平成9年12月30日(1997.12.30)

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN
ESS MACHINES CORPO
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 フィリップ・コロネル

フランス 91300 マシー リュ・ノルマ
ンディー・ニエメン 23

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外1名)

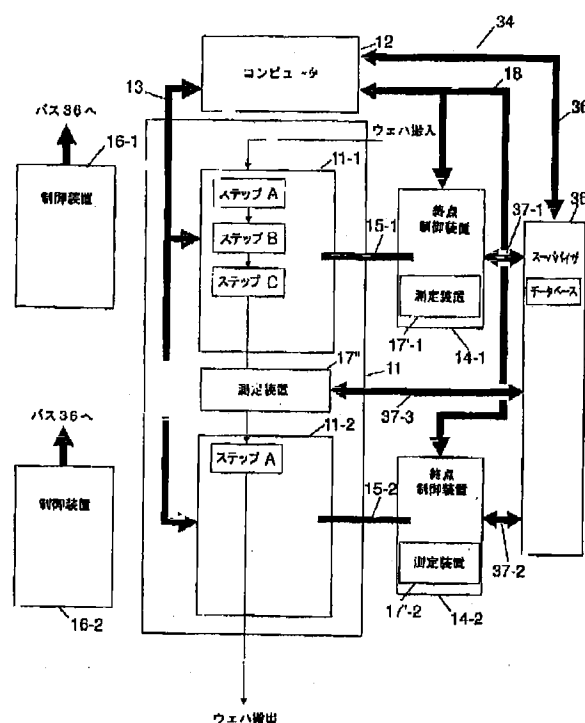
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視方法およびシステム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 半導体ウエハ製作プロセス中にツールにおいて行われるステップのリアルタイム・インシチュ対話型監視を行う方法およびシステム。

【解決手段】 このシステムはツールおよびそれに接続されたコンピュータと、終点検出制御装置と、データベースと、当該ステップとウエハ処理全体を監視するスーパーバイザとを含む。制御装置はステップの重要なプロセス・パラメータを監視するために使用され、インシチュ測定を行う。データベースには、正常動作条件と特定されたあらゆる逸脱とに対応するプロセス・パラメータの変動が入れられる。処理中、重要なパラメータが制御装置によって絶えず監視される。スーパーバイザによってリアルタイム・インシチュで信号がコード化され、分析され、データベースに記憶されている対応するデータと比較される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】ウエハのバッチに属する半導体ウエハを製作するプロセスの所定のステップのリアルタイム・インシチュ対話型監視方法であって、

a) 前記所定のステップの監視にとって決定的な少なくとも1つのプロセス・パラメータを選択する予備ステップと、

b) データベースを設定する予備ステップとを含み、前記データベースは、正常な動作条件とプロセス技術者によって特定されたそのすべての逸脱とにおける前記選択されたプロセス・パラメータの変動と、

プロセス技術者によって定義され、各逸脱の不合格基準を含むあらゆる前記逸脱を認識するように適合理化された分析規則を表すアルゴリズムと、

逸脱の各場合のアラート・コードとをコード形式で含む、前記データベースの「アラーム」構成要素と呼ぶ第1のファイルと、

前記所定のステップのバッチ名、プロセス名、およびステップ名と検討中のウエハの識別番号とを指す参照と共に当該ステップまでのウエハの履歴をコード化形式で含む、検討中の前記ウエハについての前のプロセス・ステップの重要なプロセス・パラメータと前記選択されたプロセス・パラメータの変動とを含む、前記データベースの「ウエハ履歴」構成要素と呼ぶ第2のファイルとを含み、

前記方法は前記所定のステップについて、

c) 前記製作プロセスの前記所定のステップにおいて前記ウエハを処理する少なくとも1つのチャンバを有するツールと、

前記ツールの物理プロセス・パラメータを制御するツール・コンピュータと、

前記ステップにとって決定的な少なくとも1つの選択されたプロセス・パラメータを監視する少なくとも1つの監視装置と、

前記監視装置または前記プロセス・ツールあるいはその両方に内蔵され、インシチュ・プロセス・パラメータ測定を行うことができる少なくとも1つの測定装置と、

ネットワークを介して前記コンピュータと前記監視装置と前記測定装置と前記データベースとに接続され、前記所定のステップのプロセス・フローを監視するスーパーバイザとを設けるステップと、

d) 前記ツール・チャンバに前記ウエハを搬入するステップと、

e) 前記測定装置を使用して所定のプロセス・パラメータ(たとえば厚さ)をインシチュ測定し、その値をただちにまたは後で使用するために前記データベースに記憶するステップと、

f) 前記ステップでただちに使用して少なくとも1つのプロセス・パラメータ(たとえばエッチング速度)を更

新して前記所定のステップの動作条件を変更するために前記データベースから前記値を取り出すステップと、

g) ウエハ処理を開始するステップと、

h) 前記スーパーバイザによって前記選択されたプロセス・パラメータを絶えず分析し、前記データベースに記憶されている前記対応するデータと比較して前記所定のステップ中に発生する可能性のあるあらゆる逸脱をリアルタイム・インシチュで検出するステップと、

i) 逸脱が検出されなかった場合は、正常終了までウエハ処理を続け、そうでない場合は、検出された逸脱に対応するアラート・コードで定義される是正措置を講じるステップと、

j) 前記所定のステップの処理を表すすべてのデータをいわゆる「ステップ・レポート」に記憶し、アラート・コード(ある場合)を「アラーム」レポートに記憶して検討中の前記ウエハのウエハ履歴ファイルを更新するステップとを含む方法。

【請求項2】前記プロセスのすべてのステップについてステップc)からh)までのすべてのステップを繰り返す、前記ステップ・レポートおよびアラーム・レポートをすべて前記データベースに記憶して検討中の前記プロセスについて前記ウエハの「ウエハ履歴」を構成する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】前記データベースにおいて前記バッチのすべての前記ウエハの「ウエハ履歴」がグループ化されて「バッチ履歴」ファイルを構成する、請求項2に記載の方法。

【請求項4】所定のプロセスに従うリアルタイム・インシチュ対話型監視機能を有する半導体ウエハの処理システムであって、

a) 前記ウエハ処理を行うための少なくとも1つのチャンバを有するツールと、

b) 前記ツールの物理プロセス・パラメータを制御するコンピュータと、

c) 前記ツール・チャンバで行われる前記プロセスの少なくとも1つの選択されたプロセス・パラメータを監視する監視装置と、

d) 前記監視装置またはプロセス・ツールあるいはその両方に内蔵され、インシチュ・プロセス・パラメータ測定を行う少なくとも1つの測定装置と、

e) データベースとを含み、

前記データベースは、正常な動作条件とプロセス技術者によって特定されたそのすべての逸脱とにおける前記選択されたプロセス・パラメータの変動と、

プロセス技術者によって定義され、各逸脱の不合格基準を含むあらゆる前記逸脱を認識するように適合理化された分析規則を表すアルゴリズムと、

逸脱の各場合のアラート・コードとをコード形式で含む、前記データベースの「アラーム」構成要素と呼ぶ第

1のファイルと、

前記所定のステップのバッチ名、プロセス名、およびステップ名と検討中のウエハの識別番号とを指す参照と共に当該ステップまでのウエハの履歴をコード化形式で含み、検討中の前記ウエハについて前のプロセス・ステップの重要なプロセス・パラメータと前記選択されたプロセス・パラメータの変動とを含む、前記データベースの「ウエハ履歴」構成要素と呼ぶ第2のファイルとを含み、

前記システムは、

f) ネットワークを介して前記監視装置と前記測定装置と前記コンピュータと前記データベースとに接続された監視手段を含み、前記監視手段は、

(1) 必要なときにいつでも測定装置におけるインシチュ測定を開始するステップと、

(2) 前記データベース内の前記ウエハ履歴ファイルに前記測定の結果を記憶するステップと、

(3) 前記ウエハ履歴ファイルから現行ステップの前記測定の結果または前のステップの対応する結果を取り出すステップと、

(4) 現行ウエハ処理中に前記制御装置によって生成されたデータを前記データベースに記憶されている対応するデータと比較して正常動作条件に対する逸脱を検出するステップと、

(5) 前記アラート・コードが入手可能になるとただちに修正処置をとるステップと、

(6) 現行ステップの処理を表す前記データをすべていわゆる「ステップ・レポート」に記憶し、前記アラート・コード(ある場合)を「アラーム」レポートに記憶して、検討中の前記ウエハの前記ウエハ履歴ファイルを更新するステップとを行うように適合されているシステム。

【請求項5】前記監視装置がEPD制御装置である、請求項4に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体集積回路に関し、より詳細には半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムに関する。コンピュータによって制御された専用ツールにおいてリアルタイム・インシチュ対話型監視によって行われるウエハ製作プロセス(エッチング、付着など)の所定のステップとは、基本的には、まず終端点コントローラによって複数のプロセス・パラメータを並行してリアルタイム・インシチュ監視するステップと、それらの変動を、データベースに記憶されている正常に実行された場合のプロセス・ステップおよび識別済み欠陥を記述する対応するデータと比較するステップとを含む方法を意味する。この比較を行うために作成された分析規則とプロセス技術者によって定義された関連する不合格基準

は、アルゴリズムの形でコード化され、同様にデータベースに記憶される。プロセス規格外れが検出された場合、アラート・コードのフラグがたてられてアラームが通知され、ただちに適切な処置が講じられる。このアラート・コードもデータベースに記憶される。「アラーム」関連データに加えて、この方法はそのステップ中に収集されたデータをただちにまたは後で後続ステップで利用することを含む。これらのデータもデータベースに記憶され、ステップを行う前にステップの動作条件を更新するために使用される。これらのデータはそのステップ中に、またはそのステップの終わりにデータベースに記憶され、ただちに利用したり後で利用したりするためにデータベースから取り出されるため、この方法を「対話型」と呼ぶ。本発明の方法を実施するには、この処理ステップを監視するコントローラとコンピュータとデータベースとに接続されたスーパーバイザが必要である。

【0002】

【従来の技術】集積密度が絶えず向上しているため、集積回路(IC)製造用の半導体ウエハの製造に現在使用されている製作プロセスはきわめて精確に制御する必要がある。このため、その目的に必要な処理ツールはますます複雑化しつつある。処理ツールは、複数のチャンバを含むことがあり、さらに各チャンバは多数の処理ステップを実行することがある。費用を節約し、スループットを向上させるために、ウエハは一般に、コンピュータ制御されてツールの前記複数のチャンバを通して次々と処理される。チャンバの選択は、稼働率、異物量、特殊用途化など、いくつかの要因によって決まる。

【0003】現在、半導体業界では、インシチュ(in-situ)異物監視、測定、ガス分析などのツールおよびプロセスをキャラクタライズする新しい方法が一般的に使用されている。これらのキャラクタライズ技法はすべて、様々なタイプの膨大なデータを生み出す。特に、このようなデータは、ガス・フロー、圧力、高周波パワー、温度、などの物理プロセス・パラメータを含み、これらは所定のステップの間、絶えずコンピュータ制御される。その他のデータとしては、プロセスを絶えず監視している制御装置や測定装置が出力する結果(たとえばエッチング速度)がある。現行ステップや次のステップにとってきわめて重要なこれらのデータはすべて、これまでのところまだ有効に利用されていない。

【0004】実際、現在、ツール・コンピュータには物理プロセス・パラメータが一時的に記憶されるに過ぎない。これらのデータは、プロセスの終わりにさらに分析/調査に利用される場合があるが、これまでのところ処理中のウエハのためにも後続ステップのためにもリアルタイム・インシチュにはまったく使用されていない。特に、ステップ/ウエハの履歴に関するデータは、後で利用するために制御装置にもコンピュータにも入手するこ

とができない。

【0005】図1に、半導体ウエハを処理する典型的なプロセス・フローを実施する、参照番号10が付された従来技術の従来のシステムの概略図を示す。以下の説明は、米国カリフォルニア州サンタクララのApplied Materialsが製造するAME5000マルチチャンバなど、ウエハの表面において異なる材料をエッチングする一連のステップを行うように調整されたRIEツールを参照しながら行う。しかし、付着装置などのその他のツールも考えられる。図1を参照すると、システム10は、付随するツール・コンピュータ12を備えたそのようなRIEエッチング・ツール11から成る。図1からわかるように、説明を簡単にするためにツール11は2つのチャンバ11-1および11-2のみで構成されているが、実際には、たとえば最大6個の独立したチャンバなどより多くのチャンバを有することができることを理解されたい。また、説明を簡単にするために、各チャンバはA、B、...、I、...、Xと符号が付された処理ステップの同じシーケンスを実行するものと仮定する。データ・バス13がツール・チャンバとコンピュータ12との間のデータ・フロー交換のために両者間の電気接続を行う。

【0006】初期設定時に、コンピュータ12はステップAの物理パラメータを、チャンバ11-1または11-2のいずれか適切な方にダウンロードする。典型的な物理プロセス・パラメータは、ガス・フロー、圧力、高周波パワー、温度などである。次に、ステップAを行い、一般には一定時間後に停止させる。この手続きは、必要な場合は他のステップB、C、...、Xにも適用される。これらのステップの間、プロセス制御のためにコンピュータ12がデータ・バス13を介して様々な物理プロセス・パラメータを検査し、それらのパラメータのうちの1つが所定の限界を超えた場合にのみ現行プロセスを停止させる。停止は一般に、高周波パワー停止またはガス・フロー損失など重大なハードウェア障害後に行われる。

【0007】図1に図示したシステムの改良版を、図2に今度は参照番号10'によって示す。同じ要素には同じ参照番号が付けられている。例示のために、チャンバ11-1および11-2ではそれぞれ3つの処理ステップ(A~C)と1つの処理ステップ(A)しか行われないうものとする。この改良型システム10'は、ツール11、コンピュータ12、およびその間に接続されたデータ・バスに加えて、各ツール・チャンバに付随する追加の装置を含む。図2からわかるように、それぞれチャンバ11-1および11-2内部のプラズマを監視するために光ファイバ15-1および15-2を備えた2つのエッチング終点検出(EPD)制御装置14-1および14-2が設けられている。これらのEPD制御装置の役割は、光学/干渉測定を行うことだけである。システ

ム10'で使用することができる適切なEPD制御装置は、フランス、アルパジョンのSOFIE Inst r. が販売するDIGISEMまたはDIGITWINである。しかし、本出願では、「EPD」は「エッチング終点検出」、あるいは、たとえばエッチング・プロセスの代わりに付着プロセスを使用する場合などはより一般的に「終点検出」を指す。同様に、チャンバ11-1および11-2にはそれぞれ2つの制御装置16-1および16-2が付随しており、これらは典型的にはパーティクル・カウンタ、ガス検出器、質量分析器などである。これらの制御装置の性質は、エッチング、付着など、対象ツールの機能によって異なる。操作者は制御装置を進行中のプロセスの目視検査に使用し、それによって、たとえば特定のカウンタによって過度の異物が検出された場合など、必要な場合にそのプロセスを停止させることができる。最後に、各チャンバの出力でウエハがまだ仕様範囲内にあるかどうかを判断する中間測定および処理後測定のために、2つの測定装置17-1および17-2が必要である。場合によっては、測定装置17-1および17-2を単一の同じ装置17とすることもあることに留意されたい。図2でわかるように、これらの測定はそれぞれチャンバ11-1および11-2の出力で行われる。測定装置および制御装置は一般に、後でプロセスの終わりに操作者が検討するように主な事象を記録するためのローカル・データベースを備える。データ・バス18が、基本データ交換のためにコンピュータ12とEPD制御装置14-1および14-2との間の必要な電気接続を行う。実際には、EPD制御装置の役割は、エッチング終点が検出されたことを通知すること、あるいは検出されない場合は処理ステップがその所定のステップの許容最大時間に達したことを通知することだけである。

【0008】システム10'の動作は比較的単純である。説明を簡単にするために、(1)第1のチャンバ11-1ではA~Cと符号が付された3つのステップだけが行われ、そのうち2つのステップ(AおよびC)がEPD制御装置14-1によって監視され、(2)チャンバ11-2では1つのステップ(A)だけが行われるものと仮定する。まず、コンピュータ12が前述のようにしてデータ・バス13を介して物理プロセス・パラメータをチャンバ11-1にダウンロードし、その間に、ステップAで使用するアルゴリズムの識別番号がバス18を介してEPD制御装置14-1に送られる。チャンバ11-1での開始ステップAによって、EPD制御装置14-1も選択されたエッチング終点パラメータの走査を開始する。このパラメータは、典型的にはウエハの表面にある所定の層が放射する特定の放射波長である。この放射を表す信号のサージによって、終点に達したことが示される。しかし、その他のパラメータも仕様可能である。光ファイバ15-1を介して送信された信号がE

PD制御装置14-1で処理され、エッチング終点が検出される。この場合、信号がEPD制御装置14-1によってデータ・バス18を介して送出され、エッチング終点に達したとステップAを停止させなければならないことがコンピュータ12に通知される。あるいは、EPD制御装置14-1は許容最大時間に達したことをコンピュータ12に通知する。次に、ステップBが開始される。このステップの持続期間はEPD制御装置14-1によって監視されず、したがってユーザによって設定された時間によって決まる。ステップCはステップAと同じように行われるものと仮定する。すなわち、ステップCもEPD制御装置14-1によって監視される。ステップCが完了すると、ウエハは測定装置17-1に送られ、仕様に準拠しているかどうかを検査される。良品ウエハだけがチャンバ11-2に装填され、処理が続けられる。チャンバ11-2でステップAが完了すると、測定値17-2で新しい測定ステップが行われる。第1のチャンバで行われるこれらのステップA~Cのいずれも互いに干渉せず、第2のチャンバで行われるステップとも干渉しないことに留意することが重要である。言い換えると、これらのステップは前のステップが後続のステップに干渉することなく、すべて順次に行われる。前述のように、これらのステップの間、コンピュータ12が異なる物理プロセス・パラメータをすべて検査し、それらのパラメータの1つが所定の限界を超えただけで現行プロセスを停止させる。任意選択により、後で分析するためにこれらの物理プロセス・パラメータの一覧をコンピュータ12のデータベースにアップロードすることもできる。しかし、各処理ステップ後のウエハの現実の状況はコンピュータにはまったくわからない。

【0009】図2のシステム10'とウエハ製作プロセス自体との間の複雑な相互作用は、DRAMチップにおけるトレンチ形成プロセスの過程でシステム10'を使用していわゆる「ABエッチング」/「ABストリップ」を行う場合についての以下の説明を、図3から図5を参照しながら読めば最もよくわかるであろう。「ABエッチング」は、同じチャンバ、すなわちエッチング・ツールの11-1で順次に行われる3つのエッチング・ステップ(A、B、およびCと符号が付してある)から成る。「ABエッチング」の後に「ABストリップ」を行う。これは、この2つのエッチング・ステップの後に残ったフォトリソ材料を除去する目的でチャンバ11-2で行われる単一のステップ(Aと符号が付してある)である。「ABエッチング/ABストリップ」プロセスを選んだのは、図2を参照しながら前述した説明と一貫しているからであるが、本発明の方法およびシステムの紹介として好適なためでもある。詳細については欧州特許第756318号を参照されたい。まず「ABエッチング」プロセスについて以下に簡単に概説する。

【0010】図3Aないし図3Dから成る図3について

検討してみる。まず図3Aを参照すると、正確に言えば「ABエッチング」プロセスの前の初期段階における構造19を示す半導体ウエハの一部が図示されている。エッチングする構造19は、インシチュ Si_3N_4 マスク層21を使用して選択的に形成された浅いトレンチ20Aおよび20Bがシリコン基盤を含む。これらのトレンチには共形層22の付着によってTEOS SiO_2 材料が満たされている。製作プロセスのこの段階では、図3Aに示すように、それぞれトレンチ20Aおよび20Bの上方の層22内に小さい凹部23Aと広い凹部23Bが形成される。構造19の平坦化には2つのフォトリソ層の連続付着が必要である。基盤22の上にまず厚さ830nmのフォトリソ層(AB1)24を付着させ、次に露光し、バークし、現像して、参照番号24が付けられているAB1というパターン層を基準として残す。本質的には、このマスク24の目的は広い凹部23Bと、所定量の23Aのような小さな凹部とを満たすことである。次に、層24の上に同じフォトリソの第2の830nmの厚さの層(AB2)25を塗布した後、バークする。この第2のステップの後、ウエハ表面は概略平坦であるとみなすことができる。

【0011】次に、「ABエッチング」プロセスに従って、図3Aの構造の概略平坦化された表面をTEOS SiO_2 層22に移してシリコン・ウエハの全面により薄いほぼ平坦なTEOS SiO_2 の層を形成する。

「ABエッチング」プロセスは3つの異なるステップAからCで行われる。前述のように、これらのステップはすべてAME5000プラズマ・エッチング装置の単一のチャンバで行われる。

【0012】ステップAという第1のステップに従って、最上部のレジスト層25を(装着場所にある)TEOS SiO_2 層22の表面に達するまでエッチングする。適切なアルゴリズムにより、EPD制御装置14-1を使用して SiO を230.0ナノメートルの波長を有する光線を検出することによってAB2層25/TEOS SiO_2 層22界面を検出する。

【0013】図4に、ステップAの終わりにEPD制御装置14-1の画面に表示されるプロットを示す。曲線26および27はそれぞれ、この第1のステップA中の時間の関数として230.0nmの SiO 強度を示す信号S1と、その導出信号S'1とを示している。一方、曲線28および29はそれぞれ、483nmの波長を有するCO光線の強度を示す信号S2とその導出信号S'2とを示している。信号S'2によって、基準としてのAB2層25のエッチング速度を判断することができる。信号S1およびS2は光計測の結果として得られる。図4に図示する信号は、欠陥のない構造19と完璧に行われたエッチング・プロセスを示す例である。信号S'1(曲線27)に見られるサージがステップAのエッチング終点基準として使用される。その後、短いオー

バーエッチングを行ってこのステップを終了する。プロセスのこの段階の構造19を図3Bに示す。

【0014】次に、異なる非選択的エッチング化学作用を用いて第2のステップBを行い、AB1フォトレジスト層およびTEOS SiO_2 層を所与の量(約160 nm)だけ除去する。その結果として形成された構造を図3Cに示す。

【0015】3番目の最後のステップCで、AB1レジスト層をインシチュ・マスクとして使用してTEOS SiO_2 層22をエッチングする。そのために、制御装置14-1が今度は、アイ・ビー・エム・コーポレーションとSOFIE Inst.に共同譲渡されたオーダ等の欧州特許第735565号に記載されているタイプの干渉測定を行う。簡単に言えば、水銀灯が発する光線をウエハに当てる。上記の参照特許によれば、2つの異なる波長を使用して、いわゆる「レート時間」という所与の始点からエッチングされるTEOS SiO_2 層22の量を制御する。

【0016】図5に、ステップCの終わりにEPD制御装置14-1の画面に表示されるプロットを示す。曲線30および31はそれぞれ、時間の関数として404.7 nmと435.8 nmのHg放射強度を表す信号S3およびS4を示す。曲線32および33はそれぞれ、S3およびS4の導出信号S'3およびS'4を示す。両方の波長をエッチング終点の判断に使用することができる。この曲線30~33の典型的な形状は、欠陥がまったくなく、エッチング・プロセスが適切に行われた構造19を例示するものである。正弦形の曲線30および31によって、ステップCでのエッチング速度を容易に判断することができる。この特定の測定技法に関する詳細については、オーダ等の参照特許を検討されたい。「ABエッチング」プロセスの終わりに、目標のTEOS SiO_2 の厚さが Si_3N_4 マスク層21の上に残る。この結果の構造を図3Dに示す。

【0017】したがって、システム10'の様々な構成部分と「ABエッチング/ABストリップ」プロセスとの相互作用は以下になる。まず、エッチングするウエハをAME5000プラズマ・エッチング・ツール11のチャンバ11-1内に入れる。次いで、ステップAのエッチング・プロセスが開始し、EPD制御装置14-1が起動する。エッチング終点が見つかり、ステップAは停止する。次に、ステップBを開始する。一定時間後にステップBが完了すると、ステップCはステップAを参照しながら前述したように完了する。最後に、ステップAからCまでの全シーケンスの完了後、残ったTEOS層22が仕様の範囲内にあるかどうかを判断するためにウエハを測定装置17-1に送る(これは恐らく若干のサンプル・ウエハのみに行われる)。残ったTEOS層22が薄すぎる場合、そのウエハは不合格となる。残ったTEOS層22が厚すぎる場合は、ウエハを

チャンバ11-1に送り戻し、再加工する。再加工されたウエハを再び測定する。良品のウエハをカセットに装荷し、次に「ABストリップ」プロセスのステップAにしたがってフォトレジストAB1層24の残りをストリップするためにチャンバ11-2に送る。「ABストリップ」プロセスが完了した後、ウエハを測定装置17-2に送り、このステップが満足のいくように行われたかどうかを検査する。

【0018】適切に処理されたウエハについての上記のステップ・シーケンスの概略を以下にまとめる。

- 1) カセットからウエハを取り出し、ウエハをチャンバ11-1に入れる。
- 2) 「ABエッチング」プロセスの3つのステップAからCを行う。
- 3) 測定装置17-1でTEOS SiO_2 層の厚さを測定する。不良ウエハを廃棄または再加工のために除去する。
- 4) ウエハをチャンバ11-2に入れる。
- 5) 「ABストリップ」プロセスの単一のステップAを行う。
- 6) ツールからウエハを取り出し、ウエハをカセットに装荷する。
- 7) 測定装置17-2で処理後検査を行う。不良ウエハを廃棄または再加工のために除去する。
- 8) 次のプロセスに進む。

【0019】説明を簡単にするために、ウエハをカセットに装荷したり取り出したりする中間ステップについては説明しなかった。

【0020】それぞれのツール/装置で行われる様々な処理/測定ステップを示すプロセスの流れを、図6に示す。図6からわかるように、チャンバ11-2に送る前に測定装置17-1でTEOS SiO_2 層の厚さを検査する必要があるため、「ABエッチング」プロセスをクラスタ化することはできない。すなわち、チャンバ11-1と11-2との間の直接移送はできない。言い換えると、この測定ステップのためにウエハがツール11の真空空間から出るためこのプロセスは「インシチュ」と言うことはできない。最後に、この一連のステップは測定装置17-2での他の必要な測定ステップで終了する。

【0021】さらに、EPD制御装置14-1を使用してステップAおよびステップCを制御することでは適正な「ABエッチング」プロセスが保証されない。製作プロセスのこの段階でしばしば発生する重大な問題によって、いくつかのウエハが不合格となることがある。これらの問題は、誤処理エラー、プロセス・ドリフト、ツール障害に関する問題という粗い分類に従って区別することができる。典型的な誤処理エラーは、AB1層またはAB2層(あるいはその両方)を欠落させることである。たとえば、AB2層25が欠落している場合、EP

D制御装置14-1は決して起こらない(230nmのSiO₂光線に係る)S'1信号の遷移が起こるのを待つことになる。その結果、ステップAは許容最大時間の終わりで停止する。この場合、このステップ中にAB1マスク層24とTEOS SiO₂層22の望ましくない過度のエッチングが行われているため、そのウエハを不合格にしなければならない。ウエハは明確に損傷しており、もはや再加工することはできない。他の最も一般的に見られる誤処理エラーは、AB1フォトレジスト層24の非露光、TEOS SiO₂層22の厚さの仕様外れ、TEOS SiO₂層の単純な欠落である。AME5000プラズマ・エッチング装置の覗き窓の表面にポリマーが付着するとプロセス・ドリフトが生じ、ウエハを仕様の範囲内に維持するのに悪影響を及ぼすことがある。最後に、バス上の電氣的不調や高周波停止がツール障害の典型例である。

【0022】これらの理由により、問題が発生した場合の唯一の対応方法は人間による制御であるため、「ABエッチング」プロセスは絶えず人間による制御を受ける必要がある。操作者は、このプロセスの間、その変動に応じてパラメータを定期的に調整しなければならない、それによって自動化の試みをきわめて困難なものにしている。さらに、プロセス中に介入することが不可能なため、ウエハをチャンバから出したときでなければ問題は検出されず、その結果、ウエハを救済するには遅過ぎてもはや再加工することができないことが多い。実際に、図2のシステムでは、「ABエッチング」プロセスの終わりにウエハの約5%が廃棄される。最後に、装置17-1で行われる測定ステップが、2つのチャンバ間でのウエハの移送を行う前にカセットへの装荷/取出しを操作を必要とするため、「ABエッチング」プロセスは時間がかかることに留意されたい。

【0023】要約すると、図1および図2に示すシステム構成のいずれも、現行処理ステップ中に上述の問題、すなわちウエハ誤処理、プロセス・ドリフト、およびツール障害問題のいずれに対しても、ただちに適切な修正処置をとるためのリアルタイム・インラインで対応することができない。さらにこれらのシステムのいずれも、ウエハの履歴(すなわち現行ステップの前にそのウエハに発生したすべての事象)を利用して現行ステップまたは後続ステップ中のプロセス・パラメータを変更することができない。さらに、これらのシステム構成の結果、クラスタ化が不可能なためツールの自動化ができず、それによってウエハ処理全体をマルチチャンバツールでインシチュで行うことができない。必要な中間測定ステップと処理後測定ステップによりプロセスの流れが悪くなる。したがって、これらの欠点を解消する方法およびシステムを開発することがきわめて望ましいであろう。

【0024】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の

目的は、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0025】本発明の他の目的は、ウエハ加工中にそのリアルタイム検出によって誤処理エラー、プロセス・ドリフトおよびツール障害を回避する、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視を行う方法およびシステムを提供することである。

【0026】本発明の他の目的は、ウエハがまだ再加工可能なうちに処理を停止するかまたは次のステップを迂回することによって、ウエハ不合格率を大幅に低くして製造歩留まりを向上させる半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0027】本発明の他の目的は、ウエハの再加工を大幅に低減させる半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0028】本発明の他の目的は、処理コストとターンアラウンド・タイムを大幅に削減する半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0029】本発明の他の目的は、人間が絶えず制御しなくても済むようにして自動化を向上させる半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0030】本発明の他の目的は、処理後測定を含むあらゆる標準オフライン測定をなくしてウエハ処理を高速化し、日次進行率(DGR)を向上させる、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0031】本発明の他の目的は、良品ウエハのみを処理し、不要な処理時間とウエハの無駄を回避することができるようにする、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0032】本発明の他の目的は、すべての直接移送すなわち真空状態を遮断することなく同じツールの1つのチャンバから他のチャンバへの直接移送をたどる完全クラスタ化(すなわちインシチュ)プロセスを可能にする、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0033】本発明の他の目的は、インシチュ測定を組み込み、その結果をデータベースに記憶してステップ/ウエハ履歴を作成する、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0034】本発明の他の目的は、ステップの終わりにステップの主要プロセス・パラメータがデータベースに

記憶され、ステップ／ウエハ履歴が作成される、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0035】本発明の他の目的は、現行ウエハ処理中に前のステップ／ウエハ履歴を考慮に入れた半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0036】データベースに記憶されたデータを取り出して、ステップを開始する前にプロセス・パラメータを更新する、半導体ウエハ製作プロセスのリアルタイム・インシチュ対話型監視の方法およびシステムを提供することである。

【0037】

【課題を解決するための手段】上記およびその他の関連する目標の達成は、本発明のスーパーバイザおよび監視方法によって実現される。

【0038】この方法の基本的だが重要なステップは、適切なデータベースを構築することを含む。まず第一に、プロセスの各ステップごとに、プロセス技術者が、そのステップを監視することができるようにする1つまたはいくつかのプロセス・パラメータを選択する。データベースにはまず、ウエハ製作プロセスの所定のステップが正常に行われた場合の当該ステップ中の選択されたプロセス・パラメータの変動と、逸脱が特定された場合のそれらの選択されたプロセス・パラメータの変動とに関するデータが入れられる。これらの特定された逸脱は、それまでにプロセス・エンジニアにわかっているウエハ不合格の考えられるすべての原因に基づく。プロセス・エンジニアは、これらの逸脱を特徴づけることができる1組の分析規則を定義し、それに対応する不合格基準を設定する。これらの規則をアルゴリズムの形にコード化し、これもデータベースに記憶する。したがってこれらのアルゴリズムは、後で当該ステップ中に前記選択されたプロセス・パラメータを監視し、特定された逸脱を検出するように適合される。プロセス技術者の知識に基づくアラート・コードと処置が、各逸脱に割り当てられ、コード化されて同様にデータベースに記憶される。たとえば、緊急の場合はいつでも現行ステップを停止することができ、アラート・コードによって必要とされる場合には次のステップを迂回することができる。アラート・コードのセット全体がこの検討中のステップの警報を構成する。これらの操作は、可能な場合には常に、ウエハ製作プロセスの各処理ステップおよび製造ラインの各ツールについて行われる。

【0039】ここで、ウエハ処理の所定のステップ中に、そのステップの選択されたプロセス・パラメータを絶えず監視するように選択された様々な監視装置(EPD制御装置、制御装置など)がデータ(たとえば電気信号)を発生し、そのデータが前記分析アルゴリズムによってデータベースに記憶されているデータとリアルタイム・インシチュ比較される。

この分析は、スーパーバイザと呼ばれる専用装置で行われる。スーパーバイザは、前記監視装置からデータを受け取り、データベースとの適切な接続を有する。逸脱が検出された場合、スーパーバイザは処理ツールを制御しているコンピュータにアラート・コードを送ってアラームを通知し、コンピュータは即時に適切な処置をとる。逸脱が検出されない場合は、プロセスはその通常の終了まで続けられる。

【0040】このステップの終わりに、主要プロセス・パラメータ、当該ステップ中の選択されたプロセス・パラメータの変動、およびアラート・コード(ある場合)がデータベースに記憶される。本発明の方法およびシステムの重要な特徴によると、監視装置はステップを行う前にインシチュ測定(たとえば厚さ)を行うローカル測定装置を備える。これらの測定に関するデータがコード化され、やはりデータベースに記憶される。これらのデータは、ただちに使用することもでき、後のステップで現在検討中のステップの一部のパラメータ(たとえばエッチング速度など)を更新してそのステップの現行操作条件を修正するために使用することもできる。その処理を表すすべての重要なデータは、そのステップの「ステップ・レポート」を構成し、データベースに記憶される。データベース内で、ウエハ履歴は所定のプロセスおよび所定のウエハのすべてのステップ・レポートの総和である。したがってウエハ履歴はこの更新にとって不可欠の要素である。1つのバッチのすべてウエハの「ウエハ履歴」の総和は「バッチ履歴」を構成する。さらに、複数のバッチの「バッチ履歴」を、特に統計の目的、たとえば予防／予測保守に使用することができる。特に、「良品」ウエハだけが完全に処理されてスループットが向上することと、完全なクラスタ化されたインシチュ・ウエハ製作プロセスが可能になるという利点があることがわかるであろう。

【0041】

【発明の実施の形態】新規なシステム34を図7に示す。図2に図示した従来技術の改良型システムについて、同一の要素には同じ番号が付いている。図7を参照すると、主な相違は、スーパーバイザ35と呼ぶ専用装置と、EPD制御装置またはツール11あるいはその両方に内蔵された少なくとも1つの測定装置とが追加されたことである。その結果、不要になった外部測定装置17-1および17-2は廃止されている。本発明の重要な特徴によると、測定装置がEPD制御装置(たとえば14-1)またはツール11内部に装着されている。第1の場合、測定装置(たとえば17'-1)はツール覗き窓を通した間接測定(たとえばエッチング速度)を行う。それに対して後者の場合、測定装置(たとえば17'')はウエハがマルチチャンバ・ツール11を構成するチャンバのいずれかに入る前にウエハ上で直接測定(たとえば厚さ)を行う。したがって、このような測定

装置は真空遮断なしにウエハ上でインシチュ測定を行うように適合されている。測定結果はリアルタイムでスーパーバイザ35に送られる。厚さ測定に関する限り、適切な測定装置はフランス国アルパジョンのSOFIE Instr. が販売するDIGITOMである。チャンバ11-1と11-2の間の直接ウエハ移送が可能になったため、ツール11は完全にクラスタ化されているとみなされ、それによっていわゆる「インシチュ」プロセスが可能になる。図7でわかるようにスーパーバイザ35は内部データベースを含むが、代わりに外部データベースを使用することもできることを理解されたい。スーパーバイザ35は一方は、典型的にはSECSIリンクである、双方向データ・バス36を介してコンピュータ12に接続され、他方は双方向データ・バス37-1、37-2、および37-3をそれぞれ介してEPD制御装置14-1、14-2および測定装置17に接続されている。しかし、スーパーバイザが処理するタスクが多すぎる場合にはEPD制御装置に何らかのインテリジェンスを任意選択により組み込むこともできる。これは、EPD制御装置自体に計算機能と記憶機能を付加することによって実現可能である。これについてはマイクロプロセッサを備えた電子カードといくつかのメモリ・モジュールで十分であろう。任意選択により、スーパーバイザ35にデータ・バス36を介して制御装置16-1および16-2を接続することができ、それによってスーパーバイザ35がEPD制御装置だけでなく前記制御装置によって観察されたプロセス動態も追跡できるようにすることも可能である。したがって、スーパーバイザ35は計算機能とデータ記憶機能の両方を備える。コンピュータ12はウエハ処理中にツール11の物理プロセス・パラメータを制御する役割を有するのに対し、スーパーバイザ35は主としてウエハ自体に発生する事象を扱うことに留意することが重要である。この理由で、スーパーバイザ35はデータ・バス・ネットワークを介してEPD制御装置（したがってその中に内蔵されている測定装置）と測定装置17とに接続され、最後に必要なら制御装置に接続される。

【0042】新規な監視方法

データベースの「アラーム」構成要素の設定

本発明の方法はまず、「アラーム」関係のデータを含むデータベースを作成する予備ステップを必要とする。各ステップごとに、このステップの監視にとって決定的なプロセス・パラメータを選定する。これらのパラメータを監視して、正常な状況に相当する適正なプロセス・データのセットを設定し、その変動が後で本発明の方法によって行う分析の基準として使用されることになる。次に、プロセス技術者によって特定されたウエハの考えられる各原因について、同じプロセス・パラメータ（またはそのうちのその特定の逸脱に最も適合したいいくつかのパラメータ）を監視し、前述の基準を基準にしたずれを

把握する。これらの逸脱は、それまでに特定されたウエハ不合格の考えられるすべての原因に基づく。このようにして収集され、当該ステップの正常な状況および特定された異常状況を表すすべてのデータをスーパーバイザ35のデータベースに記憶する。さらに、これらのずれをプロセス技術者が分析する。プロセス技術者は次に、正常なプロセスを基準にした特定の各逸脱を特徴づける不合格基準が定義された分析規則と呼ぶ1組の規則を定義する。これらの分析規則はアルゴリズムの形に定式化され、同様にデータベースに記憶される。最後に、各特定された逸脱には、プロセス技術者によって定義されたアラート・コードと処置が対応している。アラート・コードは異なる優先度を有する。一方、講じられる処置は逸脱の重大度に応じてかなり異なる。アラート・コードに関するデータもデータベースに記憶される。以上の手続きを、対象プロセスの最後のステップまですべてのステップについて繰り返す。これらのアラーム関連データをすべて組み込んだデータベースは、データベースと呼ぶより大きなデータベースの第1の構成要素である。

【0043】以下のいくつかの例によって、このようなデータベース「アラーム」構成要素を作成するこの予備ステップを例示する。本出願の導入部と一貫させるために、これらはすべて「ABエッチング」プロセスの3つのステップに関係し、したがって図3に示す構造19を参照しながら説明する。

【0044】例I

前述のように、「ABエッチング」プロセスの最初の段階、すなわちステップAで、フォトレジスト層AB1が正常に存在する。構造19に欠陥がない場合を図4のグラフの曲線26～29で表す。図4から明らかなように、導出信号S'1（曲線27）はステップの終わりできわめて急峻な遷移を示している。次に図8を参照すると、AB1フォトレジスト層24がない場合の信号S1、S'1、S2、およびS'2が示されている。この場合、曲線34で表されたS'1信号はより緩やかな傾斜を有する。プロセス技術者はこの相違を使用してこの2つの場合を区別する。AB1フォトレジスト層がない状態を特徴づけるために、以下の規則が設定されている。少なくとも約25秒間、信号S'1が500（恣意的単位）より高く、1600よりも低い場合、AB1フォトレジスト層が欠落しているとみなす。その場合、プロセス技術者はそのような状況の結果を検査させる。AB1フォトレジスト層が欠落しており、ステップAが通常通り行われた場合、ステップBおよびC中にTEOS SiO₂層22全体がエッチングされて不合格の主な原因になる。したがって、AB1フォトレジスト層が「欠落している」ことが検出されたらただちにエッチングを即時停止しなければならず、その結果、この場合、アラート・コードは「即時ステップ停止」であり、推奨処置はチャンバ11-1におけるステップBおよびCを迂回す

ることである。この場合、ウエハは再加工可能である。

【0045】例II

ウエハがAB1リソグラフィ・ステップに渡されていないものとする。その結果、ウエハがステップAで処理される前に構造体19の表面に2つのフォトレジストAB1およびAB2の層24および25が完全に存在する。図9に、この特定の状況における信号S1、S'1、S2、およびS'2を示す。この場合、プロセス技術者はエッチング速度、したがってエッチング厚さを規定する曲線35の信号S'2を選択している。規則によって、エッチング厚さが正常値の10%を超える場合、プロセスを停止する必要がある、それ以外の場合は許容最大時間に達するまで続けるように規定されている。ステップAのエッチング終点が決して発生しないため、TEOS SiO₂層22は決してエッチングされない。エッチング・プロセスをただちに停止しなければならないのはこのためである。アラート・コードはこの場合も「即時ステップ停止」であり、推奨処置はステップBおよびCを迂回することである。この場合、ウエハは損傷せず、再加工するだけで済む。

【0046】例III

「ABエッチング」レベルでの製造中に頻繁に発生する他の障害は、AB2フォトレジスト層25の欠落である。チャンバ11-1でステップを開始したときにAB2フォトレジスト層25が欠落している場合、このステップで現在使用されている化学作用によって層22のTEOS SiO₂材料とAB1層24のフォトレジスト材料の両方が同じ速度でエッチングされる。数分後に、AB1フォトレジスト全体が除去され、それに加えて大量のTEOS SiO₂材料も除去される。その結果、ウエハは製造プロセスのこの段階で廃棄する必要がある。この場合、信号S'1を使用し、TEOS SiO₂がエッチングされていることを意味する干渉が検出されるとただちにエッチングを停止させる。図10にこの特定の状況における信号S1、S'1、S2、およびS'2を示す。この場合、信号S'1は曲線36で表されている。この場合の規則は以下の通りである。最大持続時間120秒の信号S'1のレート時間RTから開始し、信号S'1の振幅が1500（恣意的単位）を超えて上昇し、600より下に下がり、再び1500を超えて上昇した場合、これはエッチング速度が高過ぎることを意味する。アラート・コードは「即時ツール停止」であり、したがって推奨処置はプラズマ・エッチング・ツールを停止させることである。この特定の事例では、処理中のロットの残りのウエハをすべて目視管理してAB2フォトレジスト層25の存在を確認する。

【0047】例IV

この例は、ツール誤動作に関係する。これは、チャンバ内壁がエッチングによって生じた化学反応の副産物（典型的にはポリマー）で被われた場合に発生することがあ

る。ステップAを開始すると、これらの副産物が先にエッチングされ、その結果、AB2フォトレジスト層25を完全に除去するように規定された予定エッチング時間では十分ではないことがわかり、ステップAの終わりにウエハがまだAB2フォトレジスト被覆で被われた状態でチャンバ11-1から出る。アラート・コードによって、さらにエッチングする必要があることがコンピュータに示される。この状況を特徴づけるためにプロセス技術者によって作成された基準は、図11を参照すれば理解できる。図11には、この状況に相当する信号S1、S'1、S2、およびS'2が図示されている。曲線37によって表された信号S1の振幅に対して検査を行う。60秒の間隔で2つの検査を行い、信号の振幅の差が10%より大きい場合、アラート・コードによって所定の持続時間の追加エッチングを行わなければならないことが示される。

【0048】例V

AB1またはAB2フォトレジスト付着中に、しばしばウエハの中心にレジストの滴が落ちて局所的厚みが形成される。このウエハがステップCに入ると、この欠陥によってエッチング終点検出ができなくなり、その結果、ウエハが許容最大エッチング時間、エッチングされる。図12に、この状況に相当する信号S3、S'3、S4、およびS'4を示す。この場合、曲線38で表された信号S'3に非対称が検出された場合、アラート・コード「デフォルト時間で停止」が通知されることが規則によって規定される。推奨処置は、所定の時間（デフォルト時間）の間エッチングを続けることである。

【0049】例VI

たとえばステップA中に、高周波発生器が停止し、ただちに再始動した場合、S1信号が下がり、再び上がる。その導出信号S'1は急峻に同様に变化する。発生したサージによって疑似エッチング終点が生じ、その結果、ステップAの早すぎる停止が起こる。次に、ウエハをステップBに従って処理する。最後に、ウエハがステップCに渡されるとき、ウエハの上部にまだ大量のフォトレジストAB2が残っている。選択的なステップCの化学作用によって、TEOS SiO₂材料がエッチングされない。最終結果として、ステップA中にアラームが通知されない場合、ウエハはTEOS SiO₂層22が腐食されずにステップCを終了し、化学機械平坦化ステップ後に不合格となる。図13に、この状況に相当する信号S1、S'1、S2、およびS'2を示す。信号S1およびS'1を表す曲線には、それぞれ参照番号39および39'が付いている。この場合、プロセス技術者によって定義された規則は、ステップAの開始から30秒後に、信号S1の振幅を検査し、2つのサンプリングの変化が5%を超える場合、アラート・コード「即時ステップ停止」を通知しなければならないという規則である。推奨処置はステップBおよびCを迂回すること

ある。

【0050】データベースの「アラーム」構成要素の構築に至る様々な操作の概略を図14のフローチャート40によって要約する。A～Xの符号が付いたいくつかのステップを含む全体的なプロセスの最初の処理ステップAの操作のシーケンスを考えてみる。図14を参照すると、最初の操作は、ステップAを監視する適切なプロセス・パラメータを選択し、それらのパラメータの正常な条件において行われた処理中の変動を設定することである（ボックス41-A）。これらの選択されたプロセス・パラメータの変動を基準として使用して、プロセスをインラインかつリアルタイムで監視する。「ABエッチング」プロセスのこの特定の事例では、これらの選択されたプロセス・パラメータは図4に図示する少なくとも4つの信号S1、S'1、S2、およびS'2を含む。次に、正常なプロセス条件を基準にした考えられるすべての逸脱を特定し、各逸脱について前記選択されたプロセス・パラメータの変動を設定する（ボックス42-A）。さらに、各逸脱について、不合格基準を含む分析規則を定義してその特定の状況を特徴づける（ボックス43-A）。複数のプロセス・パラメータを使用する場合、スーパーバイザはそれらを並列して分析することになることに留意されたい。次に、特定の分析アルゴリズムを作成する（ボックス44-A）。実際には、各ステップに合わせて適合されたアルゴリズムの特定のセットがある。これらのアルゴリズムはプロセス技術者によって作成され、これは明らかに当業者の能力の範囲内にある。特定された逸脱にアラート・コードととるべき推奨処置が割り当てられる（ボックス45-A）。最後に、この操作シーケンスを全体的プロセスの各ステップA～Xについて行う。これらのアラーム関連データはすべて、図14のボックス46に示すデータベースに記憶される。このデータベース（以下、データベース46と呼ぶ）は、スーパーバイザ35に内蔵されていることが好ましいが、外部データベースも考えられる。したがってデータベース46は関係するすべての「アラーム」関連データを含む。言い換えると、データベース46は、正常な動作条件およびその特定された逸脱条件における選択されたプロセス・パラメータの変動と、分析規則およびそれに付随する不合格基準（分析アルゴリズムの形に定式化されている）と、最後に、各逸脱に割り当てられたアラート・コードおよびとるべき処置とを含む。上述の手続きの明白な柔軟性のため、データベース46の「アラーム」構成要素はウエハ製作プロセスの1つまたはいくつかのステップおよび製造ラインの1つまたはいくつかのツールに合わせて適合することができる。

【0051】新規なプロセス・フロー番号47が付いた図15を参照しながら新規なプロセス・フローについて説明する。したがって、これはウエハ製作プロセスのどの処理ステップにも、どのツールにも

適用可能である。所定の処理ステップについて、ウエハがツールの指定されたチャンバに搬入される（ステップ48）。次に、コンピュータ12が、バッチ（またはロット）名、プロセス名、ステップ名、およびウエハID（識別番号）をスーパーバイザ35にダウンロードする。バッチ名とプロセス名はプロセスの最初のステップでのみロードされ、ウエハIDはウエハが変わる都度および各ステップごとにロードされることに留意されたい。本発明の重要な特徴によると、処理ステップのこの段階で必要な場合は測定を行う（ステップ49）。これはEPD制御装置（たとえば14-1）に内蔵された内部測定装置（たとえば図7の17'-1）によってインシチュで行われる。しかし、図15に示すように、変形態様ではこの測定ステップ49を、ウエハをツール・チャンバに搬入する前に行う。この場合、これはツール11に内蔵された測定装置17"で行われる。スーパーバイザ35は、測定結果を受け取ると、その測定結果をただちにまたは後で利用するためにデータベース46に記憶する。スーパーバイザ35はこの測定結果を使用するか、またはその代わりに、データベース46に前に記憶されていた対応する測定データを取り出して更新する（すなわち当該処理ステップの1つまたはいくつかのプロセス・パラメータを変更する）（ボックス50）。図15に示すように、ステップ50で可能なこのデータベース46とのデータ交換は、本発明の方法の対話型の態様を明快に示している。ここで、当該ステップのウエハの処理（たとえばエッチング、付着など）が開始され、この特定のステップを監視するEPD制御装置（または任意の制御装置あるいはその両方）が起動される（ステップ51）。それと同時に、スーパーバイザ35はデータベースに記憶されている適切なアルゴリズムを適用することによって選択されたプロセス・パラメータの分析を開始し、データベースに記憶されている分析規則に従ってEPD制御装置によって発生された対応する信号を分析する（ステップ52）。その結果、選択されたプロセス・パラメータの変動が絶えず分析される。選択されたプロセス・パラメータのずれが発生すると、スーパーバイザ35はプロセス技術者が設定した不合格基準のいずれかが満たされているかどうかを検査する（ステップ53）。正常なプロセスに対する特定された逸脱を認識するのは分析アルゴリズムの役割である。したがってこの分析と検査はインシチュかつリアルタイムに行われる。異常（すなわち逸脱）が検出された場合、スーパーバイザ35はコンピュータ12にアラート・コードを送り、それによって適切な処置をただちにとれるようにする（ステップ54）。スーパーバイザ35によって異常が検出されなかった場合は、当該のステップを最後まで続ける（ステップ55）。ステップ49で行われた測定の結果（ある場合）、このステップにとって重要なプロセス・パラメータとこのステップを監視する選択された

プロセス・パラメータの変動が、この所定のステップと検計中のウエハのいわゆる「ステップ・レポート」を構成する。アラート・コードと講じるべき処置が、いわゆる「アラーム・レポート」を構成する（ステップ56）。ステップおよびアラーム・レポートは、後で詳述するようにデータベース46の「ウエハ履歴」と呼ぶファイルに記憶される。最後に、ウエハは次のステップに進む用意ができる（ステップ57）。

【0052】図16に、バッチの各ウエハのウエハ履歴の構築を高水準で要約したフローチャート58を示す。図16に示すように、そのIDによって識別されたウエハのウエハ履歴は、所定のプロセスのすべてのステップについて作成されたすべてのステップ／アラーム・レポートの総和である。さらに、バッチのウエハのすべての「ウエハ履歴」の総和は、「バッチ履歴」と呼ぶデータベース46の第2の構成要素を構成する。データベース46のその他の構成要素も考えられる。たとえば、バッチ履歴ファイルの一部のデータを特殊目的のために処理して「バッチ統計」と呼ぶデータベース46の第3の構成要素によって、図16に示すようにバッチ統計を出すことができる。たとえば、バッチ統計構成要素は、所定のステップでバッチのすべてのウエハについて測定したエッチング速度の平均値を含むことができる。要約すると、データベース46は典型的には3つの構成要素から成る。そのうちの2つは特にそのウエハに関係する「アラーム」と「ウエハ履歴」であり、3つ目の構成要素はバッチのすべてのウエハに関係する「バッチ統計」である。バッチ履歴はバッチのすべてのウエハの「ウエハ履歴」の並置によって形成される。

【0053】次に、「ABエッチング／ABストリップ」プロセスに適用した場合の図15の新規なプロセス・フロー47の実施について考えてみる。

【0054】ウエハがチャンバ11-1に入るとき、バッチ名（たとえばバッチID#1）、プロセス名（たとえば「ABエッチング」）、およびステップ名（たとえばA）がすでにコンピュータ12によってスーパーバイザ35に送られている。EPD制御装置にインテリジェンスが組み込まれている場合は任意選択によりこの情報の一部をバス18を介してEPD制御装置14-1に送ることができる。プロセスのこの段階で、たとえば測定装置17'-1によって測定ステップを行って二重AB1/AB2フォトリソ層の厚さを計ることができることに留意されたい。この測定を行った場合、測定値はステップAレポートに記憶される。また、ステップAを開始する前に、この測定ステップ（または前の測定ステップ）によっていくつかのステップAプロセス・パラメータを更新することもできる。次に、ウエハIDがスーパーバイザ35に送られ、ステップAプロセスが開始し、EPD制御装置14-1が始動して信号S1、S'2、S2、およびS'2を発生し、これらの信号は、

（スーパーバイザ35にステップ名がダウンロードされるとただちに選択される）特定の分析アルゴリズムによってただちに処理される。検査中に異常が検出された場合は、特定された逸脱に応じて対応するアラート・コードがコンピュータ12に送られ、適切な処置がとられる。典型的な処置は残りのステップBおよびCを迂回することである。しかし、逸脱の重大度によっては、プロセスまたはツールを停止させることもできる。異常が検出されなかった場合、ウエハはステップAの終了まで処理される。このステップのいくつかのプロセス・パラメータおよび選択されたプロセス・パラメータの変動（後続ステップにとって重要な場合）と、アラート・コードとが、ステップ・レポートとアラーム・レポートというラベルの付いた2つの異なるファイル（単一のファイルとしてマージすることもできる）に記憶される。

【0055】次に、ウエハはステップBに入る。コンピュータ12によってステップBの名前がスーパーバイザ35に送られる。ステップAとは異なり、ステップBはEPD制御装置14-1によっては監視されず、その持続時間は固定した時間によって決められる。しかし、スーパーバイザ35は、可能性のある一般障害（たとえば高周波停止）の発生に関する信号など、他の信号を分析することができる。異常が検出されなかった場合、アラームは通知されない。ステップBプロセスの終わりに、ステップBのステップ・レポートとアラーム・レポートがデータベース46に記憶される。ウエハがステップCに入る前に、EPD制御装置14-1の内部測定装置17'-1によって測定ステップを行うことができる。このステップの役割は、TEOS SiO₂層22の厚さがまだ仕様の範囲内にあるかどうかを調べることである。この厚さは、ステップ・レポートに記憶されるプロセス・パラメータの好例である。厚さが仕様の範囲内にある場合、ウエハはステップCに入る。

【0056】スーパーバイザ35はバッチ統計ファイルから、前に処理されたウエハについて行われた同様の測定によって求められた値など、平均エッチング速度（デフォルト値から始まる）を取り出す。スーパーバイザ35は次に、TEOS SiO₂層22をエッチングする理想的な持続時間にきわめて近いと認められるステップCの正確なエッチング時間を計算することができる。次にステップCプロセスを終わりまで実施する。同様に、ステップCの終わりで、ステップ・レポートとアラーム・レポートが更新のためにデータベース46の当該ウエハのウエハ履歴ファイルに記憶される。その結果、バッチ履歴ファイル、さらにバッチ統計ファイルも、ステップC中に実際に測定されたエッチング速度の値を考慮に入れて更新され、ファイル内のこのプロセス・パラメータの平均値が補整される。チャンバ11-1内でのウエハの処理はこれで終了する。

【0057】ウエハは直接チャンバ11-2に移送さ

れ、「ABストリップ」プロセスのステップAが行われる。しかし、途中で測定装置17で測定を行うことができる。ステップCが完了すると、ステップ・レポートとアラーム・レポート（ある場合）が記憶され、それによって「ABエッチング／ABストリップ」プロセスについてこのウエハのウエハ履歴が完成する。プロセス中にアラームが通知されなかった場合、そのロットのすべてのウエハが良品であることを意味する。それに対して、アラームが通知された場合、障害のあるウエハをそのウエハIDによって識別することができ、障害の原因をステップ・レポートとアラーム・レポートで見つけることができる。その結果、「ABエッチング／ABストリップ」プロセスの終わりでウエハのキャラクタライズは不要である。

【0058】適切に処理されたウエハの上述のステップ・シーケンスについて、以下に概略をまとめる。

- 1) カセットからウエハを取り出し、ウエハをチャンバ11-1に搬入する。
- 2) アラームが通知されない限り、「ABエッチング」プロセスの3つのステップA～Cと「ABストリップ」プロセスのステップAを順次に行う。アラームが通知された場合は、一般に次のステップを迂回するが、場合によってはプロセスまたはツール・チャンバを停止させることもできる。
- 3) ツールからウエハを取り出し、カセットに装荷する。
- 4) 次のプロセスに進む。

【0059】図17に示すフローチャート59に、「ABエッチング／ABストリップ」プロセスに関する上述説明をまとめ、さらに、図6に示すチャートとの関連する比較を行えるようにする。図17に示すように、測定装置17-1 (TEOS SiO₂層22の厚さ) および17-2 (バッチのキャラクタライズ) で外部的に行われた測定ステップはもはや不要である。ウエハをチャンバ11-2に送る前に測定装置17-1で検査する必要がないため、「ABエッチング／ABストリップ」プロセスは完全にクラスタ化される。すなわちチャンバ11-1と11-2の間の直接移送が可能になり、そのすべてのステップがツール11で行われる。

【0060】図18に示すフロー・チャート60に、図17に示すフローチャート59の変形態様を示す。フローチャート60では、「ABエッチング／ABストリップ」プロセス・フローの過程で測定装置17'-1および17"によって行われる（図17で符号49が付けられているタイプの）測定はもはや不要である。この場合、測定結果は前述の選択されたプロセス・パラメータの処理から間接的に得られる。しかし、データベースは前述のように（ウエハ履歴の更新のための）記憶ステップと取り出しステップと共に機能する。たとえば、前述のような「ABエッチング」プロセスのステップBを別

様に行うことができる。通常は、TEOSSiO₂層およびAB1フォトレジスト層のエッチングは固定した時間によって決められた持続時間のあいだ行われる。その代わりに、この持続時間を、ステップAのステップ・レポートに記憶された信号S'2（図4の曲線29を参照）の監視によってステップAで求められた値などAB2フォトレジスト層25のエッチング速度値から外挿することもできる。この場合、このエッチング速度値はデータベース46から取り出され、ステップBを開始する前にTEOSSiO₂とAB1フォトレジスト材料をエッチングするのに必要なエッチング時間が更新される。これが可能なのは、ステップBで使用されるエッチング混合液に、AB1／AB2フォトレジスト層とTEOSSiO₂層との間で顕著なエッチング比がないためである。

【0061】最後に、「ABエッチング／ABストリップ」プロセスのすべてのステップを完全に制御するスーパーバイザ35が、EPD制御装置14-1および14-2を介して良品ウエハだけが完全に処理されるように保証する。さらに、本発明の方法およびシステムは、完全クラスタ化（すなわちインシチュ）「ABエッチング／ABストリップ」プロセスを可能にする。最後に、障害ウエハをその識別番号（ウエハID）によってツールの出力でただちに識別することが可能になる。最後に、データベースのいくつかの構成要素（たとえばバッチ履歴ファイルやバッチ統計ファイル）は、他のプロセスまたは製造ラインの他の場所にとってきわめて価値が高いことがわかるであろう。たとえば、良品ウエハの「バッチ履歴」のセットに関するデータを利用することによって、プロセス・ツールの動作特性の変動に関する興味深い情報が得られ、それによってプロセス・ツールの予測保守を立案したり、一部のプロセス・パラメータを変更して製造ラインにおいて長期間に発生する可能性のあるいくつかのずれを修正することができる。同じ理由により、いくつかの「バッチ履歴」による特定のプロセス・パラメータ、たとえばウエハ処理の所定のステップにおけるエッチング速度の調査は「バッチ統計」ファイルの重要なデータとなることがわかるであろう。最後に、たとえば再加工可能なウエハの場合、不良ウエハの「ウエハ／バッチ履歴」に関するデータの利用も価値が高い。

【0062】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0063】(1) ウエハのバッチに属する半導体ウエハを製作するプロセスの所定のステップのリアルタイム・インシチュ対話型監視方法であって、

- a) 前記所定のステップの監視にとって決定的な少なくとも1つのプロセス・パラメータを選択する予備ステップと、
- b) データベースを設定する予備ステップとを含み、前記データベースは、正常な動作条件とプロセス技術者に

よって特定されたそのすべての逸脱とにおける前記選択されたプロセス・パラメータの変動と、プロセス技術者によって定義され、各逸脱の不合格基準を含むあらゆる前記逸脱を認識するように適合化された分析規則を表すアルゴリズムと、逸脱の各場合のアラート・コードとをコード形式で含む、前記データベースの「アラーム」構成要素と呼ぶ第1のファイルと、前記所定のステップのバッチ名、プロセス名、およびステップ名と検討中のウエハの識別番号とを指す参照と共に当該ステップまでのウエハの履歴をコード化形式で含み、検討中の前記ウエハについての前のプロセス・ステップの重要なプロセス・パラメータと前記選択されたプロセス・パラメータの変動とを含む、前記データベースの「ウエハ履歴」構成要素と呼ぶ第2のファイルとを含み、前記方法は前記所定のステップについて、

- c) 前記製作プロセスの前記所定のステップにおいて前記ウエハを処理する少なくとも1つのチャンバを有するツールと、前記ツールの物理プロセス・パラメータを制御するツール・コンピュータと、前記ステップにとって決定的な少なくとも1つの選択されたプロセス・パラメータを監視する少なくとも1つの監視装置と、前記監視装置または前記プロセス・ツールあるいはその両方に内蔵され、インシチュ・プロセス・パラメータ測定を行うことができる少なくとも1つの測定装置と、ネットワークを介して前記コンピュータと前記監視装置と前記測定装置と前記データベースとに接続され、前記所定のステップのプロセス・フローを監視するスーパーバイザとを設けるステップと、
- d) 前記ツール・チャンバに前記ウエハを搬入するステップと、
- e) 前記測定装置を使用して所定のプロセス・パラメータ（たとえば厚さ）をインシチュ測定し、その値をただちにまたは後で使用するために前記データベースに記憶するステップと、
- f) 前記ステップでただちに使用して少なくとも1つのプロセス・パラメータ（たとえばエッチング速度）を更新して前記所定のステップの動作条件を変更するために前記データベースから前記値を取り出すステップと、
- g) ウエハ処理を開始するステップと、
- h) 前記スーパーバイザによって前記選択されたプロセス・パラメータを絶えず分析し、前記データベースに記憶されている前記対応するデータと比較して前記所定のステップ中に発生する可能性のあるあらゆる逸脱をリアルタイム・インシチュで検出するステップと、
- i) 逸脱が検出されなかった場合は、正常終了までウエハ処理を続け、そうでない場合は、検出された逸脱に対応するアラート・コードで定義される是正措置を講じるステップと、
- j) 前記所定のステップの処理を表すすべてのデータをいわゆる「ステップ・レポート」に記憶し、アラート・

コード（ある場合）を「アラーム」レポートに記憶して検討中の前記ウエハのウエハ履歴ファイルを更新するステップとを含む方法。

（2）前記プロセスのすべてのステップについてステップc) からh) までのすべてのステップを繰り返し、前記ステップ・レポートおよびアラーム・レポートをすべて前記データベースに記憶して検討中の前記プロセスについて前記ウエハの「ウエハ履歴」を構成する、上記（1）に記載の方法。

（3）前記データベースにおいて前記バッチのすべての前記ウエハの「ウエハ履歴」がグループ化されて「バッチ履歴」ファイルを構成する、上記（2）に記載の方法。

（4）所定のプロセスに従うリアルタイム・インシチュ対話型監視機能を有する半導体ウエハの処理システムであって、

- a) 前記ウエハ処理を行うための少なくとも1つのチャンバを有するツールと、
- b) 前記ツールの物理プロセス・パラメータを制御するコンピュータと、
- c) 前記ツール・チャンバで行われる前記プロセスの少なくとも1つの選択されたプロセス・パラメータを監視する監視装置と、
- d) 前記監視装置またはプロセス・ツールあるいはその両方に内蔵され、インシチュ・プロセス・パラメータ測定を行う少なくとも1つの測定装置と、
- e) データベースとを含み、前記データベースは、正常な動作条件とプロセス技術者によって特定されたそのすべての逸脱とにおける前記選択されたプロセス・パラメータの変動と、プロセス技術者によって定義され、各逸脱の不合格基準を含むあらゆる前記逸脱を認識するように適合化された分析規則を表すアルゴリズムと、逸脱の各場合のアラート・コードとをコード形式で含む、前記データベースの「アラーム」構成要素と呼ぶ第1のファイルと、前記所定のステップのバッチ名、プロセス名、およびステップ名と検討中のウエハの識別番号とを指す参照と共に当該ステップまでのウエハの履歴をコード化形式で含み、検討中の前記ウエハについて前のプロセス・ステップの重要なプロセス・パラメータと前記選択されたプロセス・パラメータの変動とを含む、前記データベースの「ウエハ履歴」構成要素と呼ぶ第2のファイルとを含み、前記システムは、
- f) ネットワークを介して前記監視装置と前記測定装置と前記コンピュータと前記データベースとに接続された監視手段を含み、前記監視手段は、（1）必要なときにいつでも測定装置におけるインシチュ測定を開始するステップと、（2）前記データベース内の前記ウエハ履歴ファイルに前記測定の結果を記憶するステップと、
- （3）前記ウエハ履歴ファイルから現行ステップの前記測定の結果または前のステップの対応する結果を取り出

すステップと、(4) 現行ウエハ処理中に前記制御装置によって生成されたデータを前記データベースに記憶されている対応するデータと比較して正常動作条件に対する逸脱を検出するステップと、(5) 前記アラート・コードが入手可能になるとただちに修正処置をとるステップと、(6) 現行ステップの処理を表す前記データをすべていわゆる「ステップ・レポート」に記憶し、前記アラート・コード(ある場合)を「アラーム」レポートに記憶して、検討中の前記ウエハの前記ウエハ履歴ファイルを更新するステップとを行うように適合されているシステム。

(5) 前記監視装置がEPD制御装置である、上記(4)に記載のシステム。

【図面の簡単な説明】

【図1】2チャンバ処理ツールと専用コンピュータとから成る、半導体ウエハを処理する従来技術の従来のシステムを示す図である。

【図2】動作効率を向上させる異なる追加の装置(EPD制御装置、制御装置など)を含む図1のシステムの従来の改良版である。

【図3】図3Aないし図3Dから成り、「ABエッチング」プロセスの一連のステップが施される半導体構造を示す図である。

【図4】構造に欠陥がない場合と、ステップAのエッチング・プロセスが適切に行われた場合の、プラズマ・エッチング装置チャンバにおける「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図5】構造体に欠陥がない場合と、ステップCのエッチング・プロセスが適切に行われた場合の、同じチャンバにおける「ABエッチング」プロセスのプロセスCを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図6】プロセス・ツールがプラズマ・エッチング装置である場合の、図2のシステムを使用して行った場合の「ABエッチング/ABストリップ」プロセスを示すフローチャートである。

【図7】図2のシステムにスーパーバイザが追加された本発明による新規なシステムを示す図である。

【図8】AB1フォトリジスタ層がない状態の構造体がステップAに入ったときの「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図9】AB1フォトリジスト層がいかなるリソグラフィ・ステップによってもパターン描画されていない場合の「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

す図である。

【図10】AB2フォトリジスト層がない状態で構造体がステップAに入った場合の「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図11】プラズマ・エッチング装置チャンバの覗き窓に望ましくないポリマーが付着している場合の「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図12】ウエハの中央にフォトリジスト・ドロップがある状態の構造体がステップCに入った場合の「ABエッチング」プロセスのステップCを監視するEPD制御装置14-2によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図13】エッチング・プロセス中にプラズマ・エッチング装置の高周波停止がある場合の、「ABエッチング」プロセスのステップAを監視するEPD制御装置14-1によって表示される信号のプロットを示す図である。

【図14】本発明の方法によりデータベースを作成する様々なステップを要約したフローチャートである。

【図15】ウエハ製造プロセスのいずれかの処理ステップに適用した場合の、本発明の方法による新規なリアルタイム・インシチュ・プロセス・フローに必要な重要なステップを要約したフローチャートである。

【図16】ステップ・レポートからのウエハ履歴の作成と、バッチの各ウエハのウエハ履歴の並置によって形成されたバッチ履歴の作成を要約したフローチャートの概要図である。

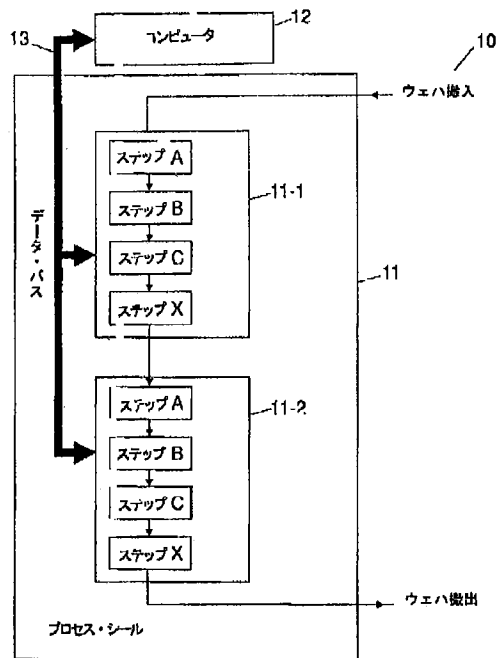
【図17】本発明の図7のシステムを使用して行った場合の「ABエッチング/ABストリップ」プロセスのフローチャートである。

【図18】本発明による図17のフローチャートの変形態様を示す図である。

【符号の説明】

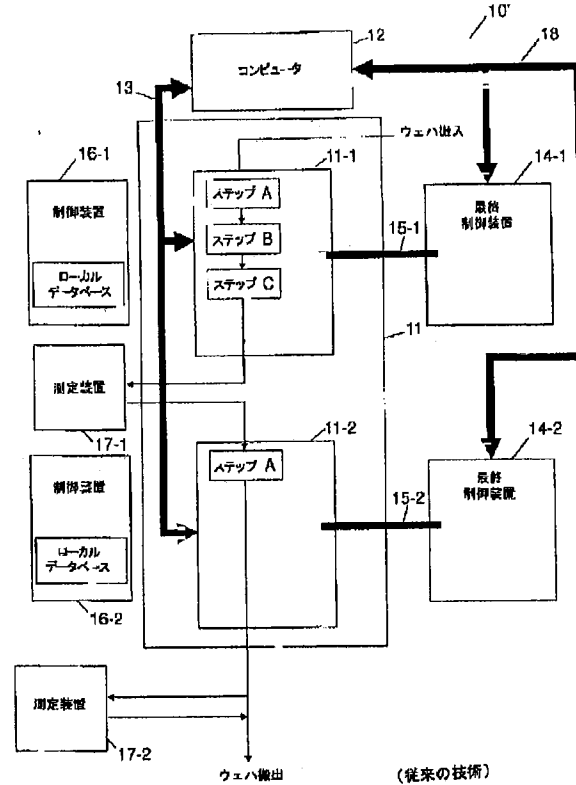
- 11 ツール
- 11-1 チャンバ
- 11-2 チャンバ
- 12 コンピュータ
- 14-1 EPD制御装置
- 14-2 EPD制御装置
- 16-1 制御装置
- 16-2 制御装置
- 17'-1 測定装置
- 17" 測定装置
- 35 スーパーバイザ

【図1】



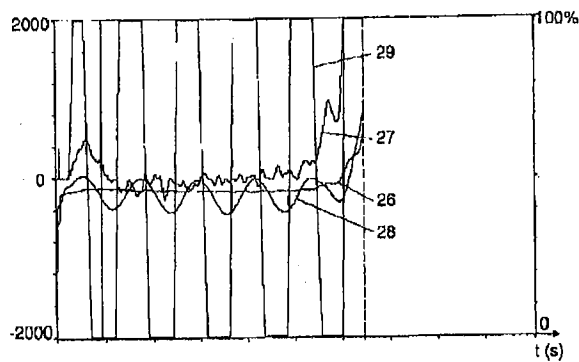
(従来の技術)

【図2】

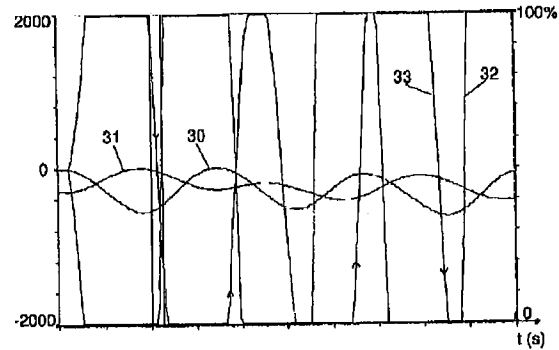


(従来の技術)

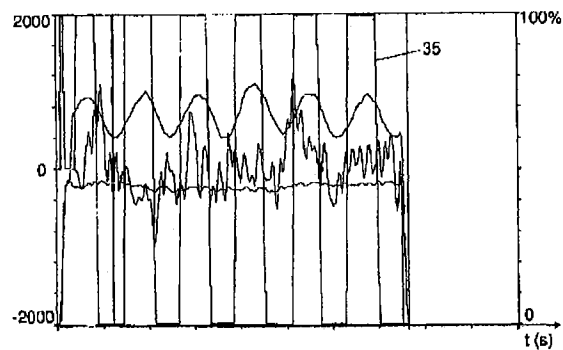
【図4】



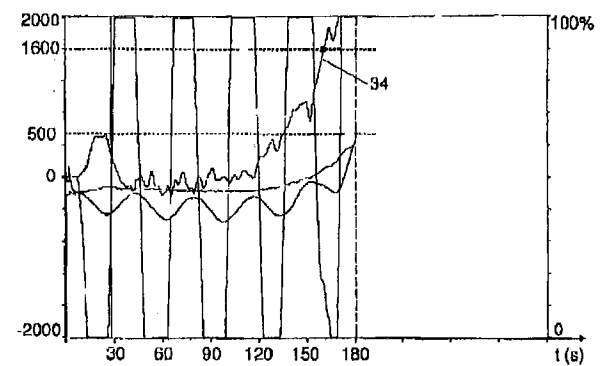
【図5】



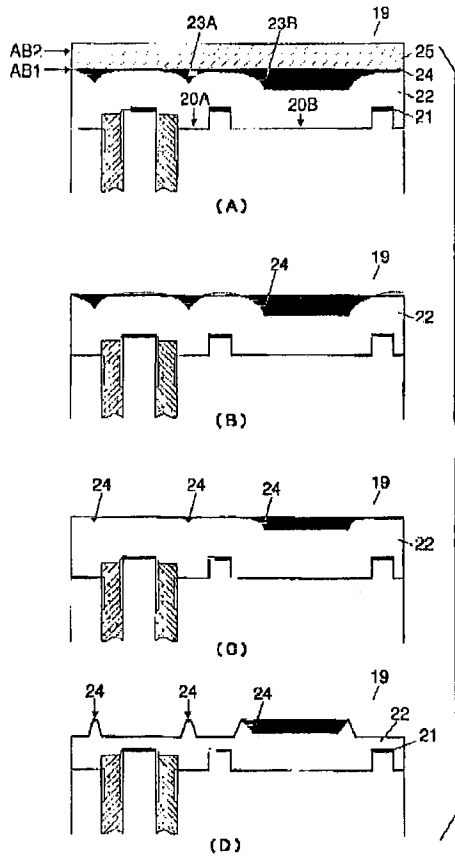
【図9】



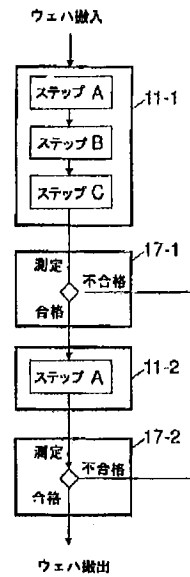
【図8】



【図3】

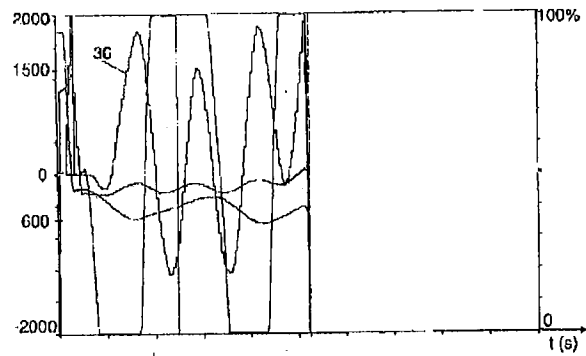


【図6】

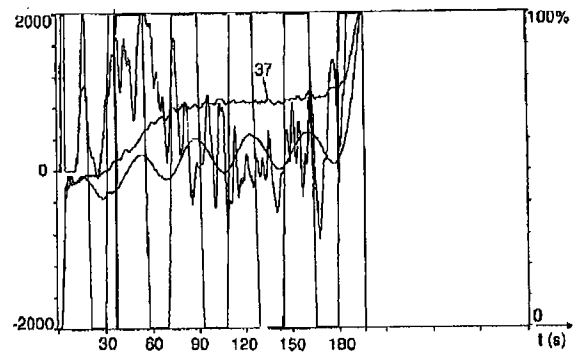


(従来の技術)

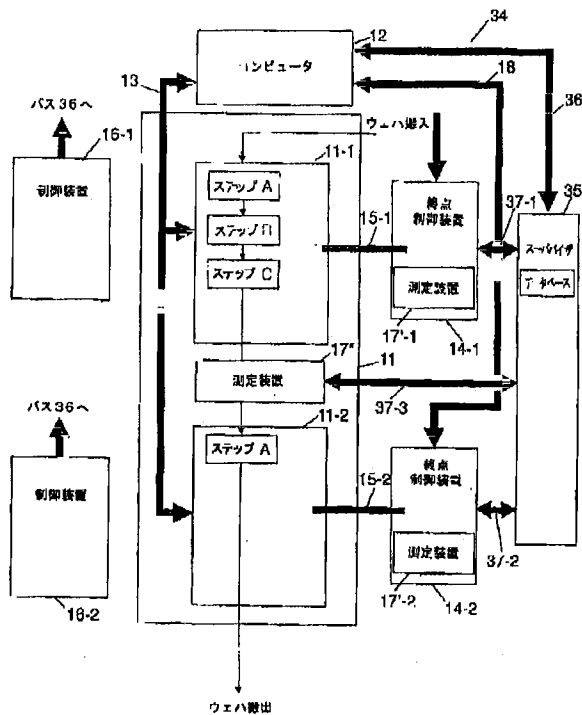
【図10】



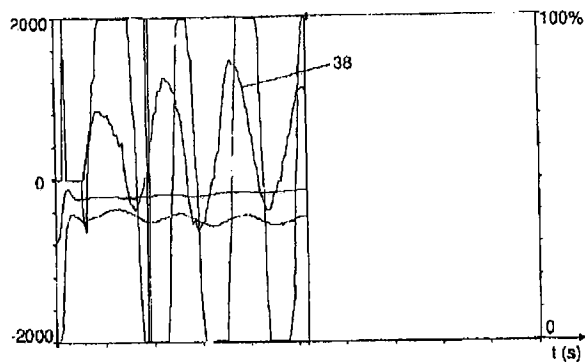
【図11】



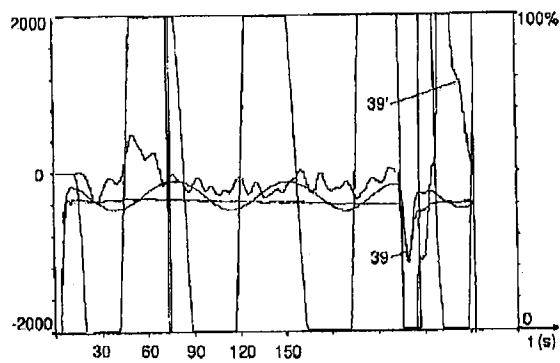
【図7】



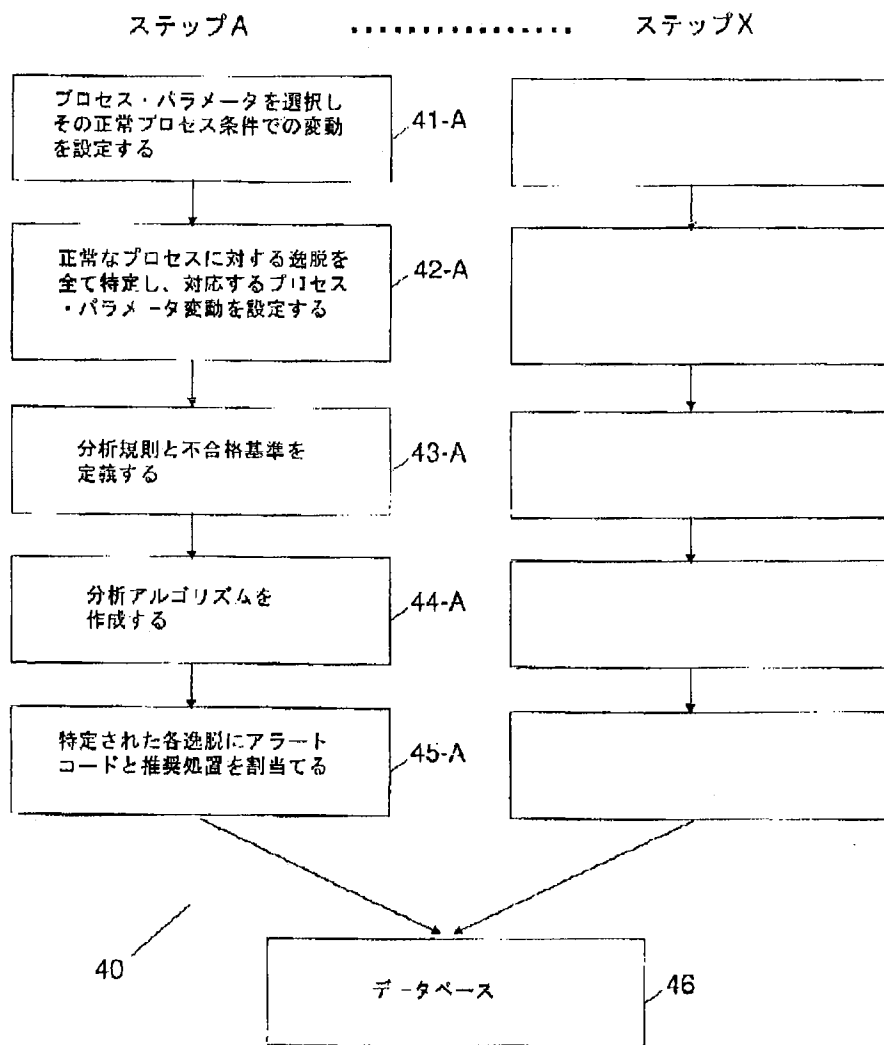
【図12】



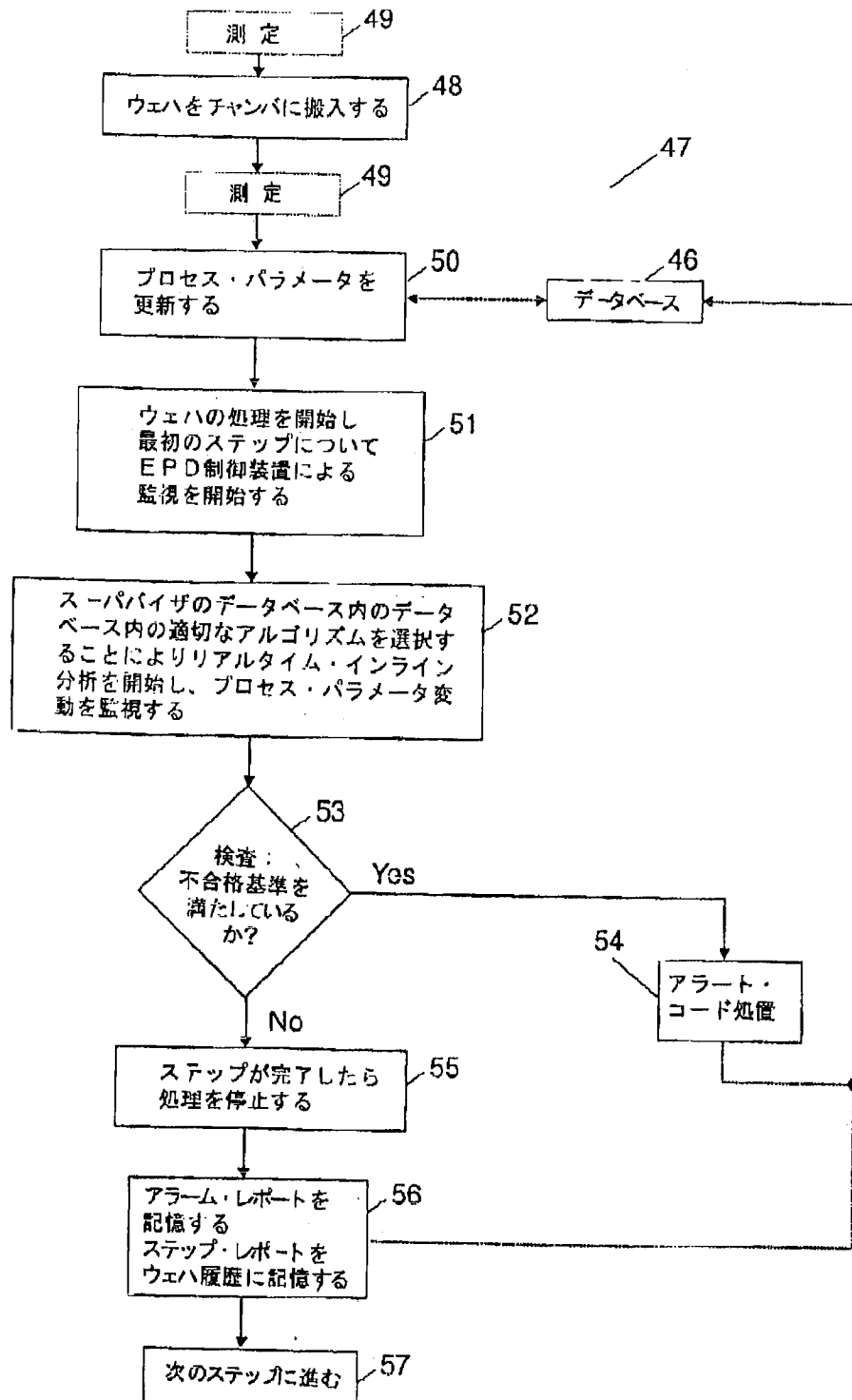
【図13】



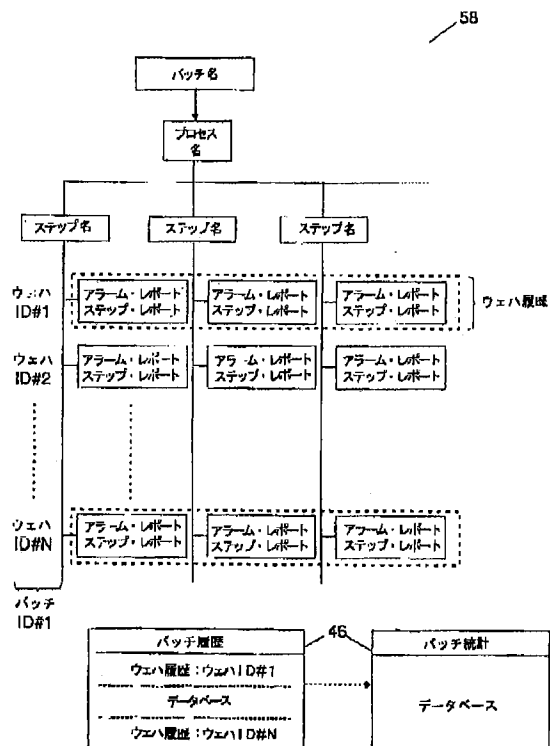
【図14】



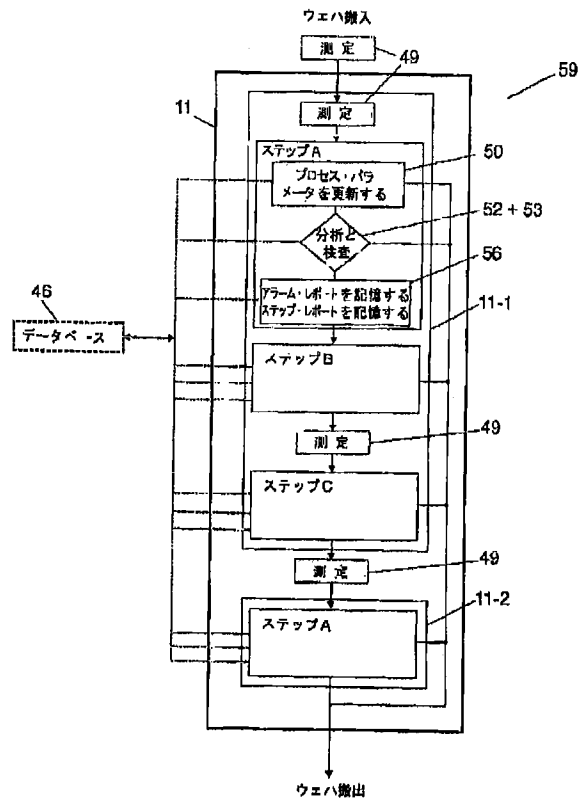
【図15】



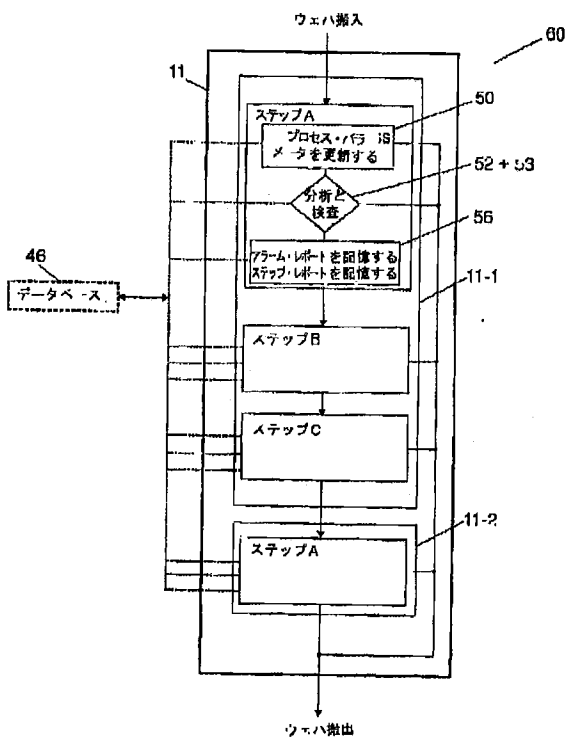
【図16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 ジャン・カンテループ
フランス 91310 モンレリー アレ
デ・ポミエ 18

(72)発明者 レンゾ・マカニャン
フランス 91100 ヴィラベ シュマン
デ・ヴィニユ 11

(72)発明者 ジャン・フィリップ・ヴァシラキス
フランス 91310 リュヴィユ・シュル
オルジュ シュマン・デ・ス・ル・クロ
48